

分布式多天线下行链路的空分复用性能分析

曾二林, 朱世华, 廖学文

(西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安)

摘要: 针对多天线下行链路的远近效应问题, 研究了分布式多天线系统的空分复用性能, 结果表明分布式多天线系统可以有效地降低远近效应的影响. 在此基础上, 提出了一种分布式多天线系统中的自适应传输方案. 该方案根据用户与各天线端口的相对位置灵活地改变传输策略, 在用户距离天线端口较远时, 利用空分复用联合发送抑制用户间干扰, 而在用户靠近天线端口时, 采用选择式发送, 以降低反馈负荷和复杂度. 仿真实验结果表明, 与空分复用联合发送相比, 通过设置合适的自适应切换门限, 所提出的方案仅以系统容量损失 7% 为代价, 能在 40% 的信道实现中有效降低反馈负荷和处理复杂度.

关键词: 分布式天线系统; 多天线; 下行链路; 空分复用

中图分类号: TN914.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)02-0185-05

Performance Analysis of Spatial Multiplexing for the Distributed Multiple-Antenna Downlink

Zeng Erlin, Zhu Shihua, Liao Xuewen

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Focusing on the near-far influence problem in the multiple-antenna downlink, the performance of spatial multiplexing (SM) in the distributed multiple-antenna system is studied. It is shown that the distributed multiple-antenna system can lead to effective reduction of the near-far influence. Thereby, an adaptive transmission scheme is proposed. This scheme flexibly switches the transmission strategy according to the locations of the users relating to the antenna ports. SM joint transmission is chosen to eliminate the inter-user interference when the users are far from the antenna ports, while the transmit selection (TS) is chosen to reduce the feedback load and the complexity when users come close to the antenna ports. Simulation results show that by rightly setting the adaptive switching threshold, the proposed scheme can considerably reduce the feedback load and the processing complexity in 40% of all the channel realizations with only 7% loss of system capacity compared to the SM joint transmission.

Keywords: distributed antenna system; multiple-antenna; downlink; spatial multiplexing

多天线系统由于优势容量而受到广泛关注^[1]. 分布式天线技术最初用于解决室内覆盖. 近年来, 学者们试图将分布式天线运用于无线通信系统, 提供无缝覆盖和高传输速率. 研究表明, 采用分布式天线技术能有效地降低发射功率, 减少小区间的干扰, 提升系统容量^[2-4]. Roh 等首次提出将多天线和分布式

天线技术相结合^[5], 可同时获得宏分集和微分集增益. 然而, 已有的研究均只限于单用户情况, 而在多天线系统中, 利用多用户空域复用可显著提升容量^[6]. 为此, 本文针对分布式多天线下行链路, 研究空分复用多用户联合传输方案的性能. 通过分析空分复用方案的远近效应, 比较了选择式发送和空分

复用联合发送方案的容量性能,提出了一种基于门限的自适应切换方案.分析和仿真均表明:分布式多天线可有效地降低远近效应的影响;选择式发送和空分复用联合发送方案具有各自的运用场合,通过正确设置切换门限,能仅以较小的系统容量损失为代价,有效降低反馈负荷和处理的复杂度.

1 系统模型及信号模型的描述

考虑一个分布式多天线下行系统.假设 Q 个端口分布于小区内,经光缆或同轴电缆与接入点(AP)相连.不考虑线缆传输时延和损耗,各端口和用户移动终端(MT)的天线数分别为 M 和 N ,各端口均只包含射频发送、接收模块,其余的信号处理或调度等由 AP 完成.

假设信道为准静态平坦衰落,在一帧内保持不变,帧间独立变化.端口 i 到用户 k 间的 $N \times M$ 维信道响应矩阵为 $\bar{\mathbf{H}}_{i,k} = (L_{i,k} s_{i,k})^{1/2} \mathbf{H}_{i,k}$ (其中 $L_{i,k}$ 表示路径损耗,由端口 i 到用户 k 间的距离 $d_{i,k}$ 和路径损耗指数 β 确定), $s_{i,k}$ 为阴影衰落,服从对数正态分布, $\mathbf{H}_{i,k}$ 为小尺度衰落信道矩阵,矩阵各元素为方差为 0、均值为 1 的独立复高斯随机变量.

文献[3-4]给出了选择式发送(简称 TS)方案,即针对某用户 k ,选择某一个端口 i 进行下行传输.为简化讨论,采用路径损耗最小作为选择端口的依据^[4],其优点是可以最小化发送功率.考虑单用户情况,用户 k 的 $N \times 1$ 维接收信号向量为

$$\mathbf{r}_k = \bar{\mathbf{H}}_{i,k} \mathbf{M}_{i,k} \mathbf{x}_k + \mathbf{z}_k + \mathbf{n}_k$$

$$i = \arg \max_{j \in [1, Q]} (L_{j,k} s_{j,k}) \quad (1)$$

式中: $\mathbf{x}_k$ 为用户 k 对应的 $N \times 1$ 维发送信号向量,其元素功率归一化; $\mathbf{M}_{i,k} = \tilde{\mathbf{M}}_{i,k} \mathbf{P}_{i,k}^{1/2}$ 为 $M \times N$ 维发送预处理矩阵,在发射端已知信道状态信息(CSI)时, $\tilde{\mathbf{M}}_{i,k}$ 可以根据信道矩阵 $\bar{\mathbf{H}}_{i,k}$ 的奇异值分解构造, $\mathbf{P}_{i,k}$ 为 $N \times N$ 维对角阵,其对角元素为各发送符号的平均功率,最优功率分配由灌水法则给出^[1]; $N \times 1$ 维向量 $\mathbf{z}_k$ 表示用户 k 接收到的来自其他小区的干扰,其元素建模为独立复高斯随机变量,均值为 0,方差 σ_z^2 由平均信干比的大小决定; $\mathbf{n}$ 为 $N \times 1$ 维白噪声向量,其元素为均值为 0、方差为 σ_n^2 的独立复高斯随机变量.

当小区内存在共道用户时,用户 k 的接收信号表示为

$$\mathbf{r}_k = \bar{\mathbf{H}}_{q(i),k} \mathbf{M}_{q(i),k} \mathbf{x}_k + \sum_{i=1, i \neq k}^L \bar{\mathbf{H}}_{q(i),k} \mathbf{M}_{q(i),i} \mathbf{x}_i + \mathbf{z}_k + \mathbf{n}_k$$

$$q(i) = \arg \max_{j \in [1, Q]} (L_{j,i} s_{j,i}), i \in [1, L] \quad (2)$$

式中: L 为共道用户数; $q(i)$ 为用户 i 选择的端口序号.注意到某用户 i 所引入的共道干扰强弱由 $d_{q(i),k}$ 和 $d_{q(i),i}$ 共同决定,例如若 $d_{q(i),i}$ 与 $d_{q(i),k}$ 相比较很小,则用户 i 所需的下行发送功率 $\mathbf{P}_{q(i),i}$ 较小,而 $d_{q(i),k}$ 引入的路径损耗相对很大,此时共道干扰对用户 k 的影响较小.

共道干扰不能忽略时,TS 方案就不适用了,可利用所有端口联合发送,则用户 k 的接收信号为

$$\mathbf{r}_k = \bar{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_k \mathbf{x}_k + \sum_{i=1, i \neq k}^L \bar{\mathbf{H}}_{i,k} \mathbf{M}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{z}_k + \mathbf{n}_k \quad (3)$$

式中: $\bar{\mathbf{H}}_k = [\bar{\mathbf{H}}_{1,k}, \bar{\mathbf{H}}_{2,k}, \dots, \bar{\mathbf{H}}_{Q,k}]$; $\mathbf{M}_k$ 为用户 k 对应的 $QM \times N$ 维发送预处理矩阵.若 AP 已知所有端口的 CSI,可对 $\mathbf{M}_k (k \in [1, L])$ 联合优化,则用户 k 的信道容量最优化问题可表示为

$$\mathbf{C}_k^{\text{opt}} = \max_{0 < \text{tr}(\mathbf{M}_i \mathbf{M}_i^H) \leq A_i, i \in [1, L]} \text{lb} | \mathbf{I}_N + ((\sigma_n^2 + \sigma_z^2) \mathbf{I}_N + \sum_{i=1, i \neq k}^L \bar{\mathbf{H}}_{i,k} \mathbf{M}_i \mathbf{M}_i^H \bar{\mathbf{H}}_{i,k}^H)^{-1} \bar{\mathbf{H}}_k \mathbf{M}_k \mathbf{M}_k^H \bar{\mathbf{H}}_k^H | \quad (4)$$

式中: A_i 为用户 i 的发射功率约束.文献[7]研究了该优化问题,比较了线性和非线性联合传输方案,其中线性迫零干扰消除方案给出了复杂度和容量的折中,下面主要考虑线性迫零干扰消除方案.

2 分布式多天线下行链路的空分复用性能分析

为去除式(4)中多用户间的互耦,得到次最优闭式解,文献[6]给出了一种线性迫零空分复用(简称 SM)方案,即要求 $\bar{\mathbf{H}}_i \mathbf{M}_k = 0, \forall i \neq k$. 为方便讨论,现简述 $\mathbf{M}_k$ 的构造方法:

(1) 基于反馈 CSI,构造组合矩阵 $\tilde{\mathbf{H}}_k = [\bar{\mathbf{H}}_1^T, \bar{\mathbf{H}}_2^T, \dots, \bar{\mathbf{H}}_{k-1}^T, \bar{\mathbf{H}}_{k+1}^T, \dots, \bar{\mathbf{H}}_L^T]^T$, 设其秩为 $\tilde{r}_k$;

(2) 对 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 做奇异值分解,得到 $\tilde{\mathbf{H}}_k = \tilde{\mathbf{U}}_k \tilde{\Sigma}_k [\tilde{\mathbf{V}}_k^{(1)} \tilde{\mathbf{V}}_k^{(0)}]^H$, 其中 $\tilde{\mathbf{V}}_k^{(1)}$ 包含 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 的前 $\tilde{r}_k$ 个右奇异向量, $\tilde{\mathbf{V}}_k^{(0)}$ 由 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 的后 $(QM - \tilde{r}_k)$ 个右奇异向量构成,即 $\tilde{\mathbf{V}}_k^{(0)}$ 构成 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 的零空间的一组基底;

(3) 预处理矩阵 $\mathbf{M}_k = \tilde{\mathbf{V}}_k^{(0)} \tilde{\mathbf{M}}_k \tilde{\mathbf{P}}_k^{1/2}$, 其中 $(QM - \tilde{r}_k) \times N$ 维矩阵 $\tilde{\mathbf{M}}_k$ 是基于等效信道矩阵 $\bar{\mathbf{H}}_k \tilde{\mathbf{V}}_k^{(0)}$ 选择的波束赋形矩阵, $\tilde{\mathbf{P}}_k$ 为 $N \times N$ 维对角阵,其对角元素为各发送符号的平均功率.

2.1 远近效应分析

在集中式天线系统中,空分复用传输会受到远

近效应的影响^[6,8].假设 AP 到各用户的距离分别为 $\hat{d}_k (k \in [1, L])$, 用户 k 的等效信道矩阵为 $(\hat{L}_k \hat{\mathbf{s}}_k)^{1/2} \cdot \hat{\mathbf{H}}_k \hat{\mathbf{V}}_k^{(0)}$, 其中, $\hat{L}_k$ 和 $\hat{\mathbf{s}}_k$ 分别为用户 k 对应的路径损耗和阴影衰落, $\hat{\mathbf{H}}$ 为功率归一化的信道矩阵, $\hat{\mathbf{V}}_k^{(0)}$ 由 SM 算法求得. 在此情况下, 若用户 k 距离 AP 很远, 即等效信道矩阵中的路径损耗很大 ($\hat{L}_k$ 很小), 其结果是该用户的误码率恶化, 同时多用户的容量域将呈现不平衡状态^[8].

采用 SM 算法时, 用户 k 的等效信道矩阵为 $\bar{\mathbf{H}}_k \hat{\mathbf{V}}_k^{(0)}$, 容量最优的 $\tilde{\mathbf{M}}_k$ 和 $\tilde{\mathbf{P}}_k$ 分别由特征波束赋形和灌水法则给出^[1], 则用户 k 的等效信道矩阵为

$$\bar{\mathbf{H}}_k \hat{\mathbf{V}}_k^{(0)} = [(L_{1,k} s_{1,k})^{1/2}, \mathbf{H}_{1,k} (L_{2,k} s_{2,k})^{1/2} \mathbf{H}_{2,k}, \dots, (L_{Q,k} s_{Q,k})^{1/2} \mathbf{H}_{Q,k}] \hat{\mathbf{V}}_k^{(0)} \quad (5)$$

由于用户 k 到各个端口的距离不同, $\bar{\mathbf{H}}$ 中所包含的分块矩阵 $(L_{i,k} s_{i,k})^{1/2} \mathbf{H}_{i,k} (i \in [1, Q])$ 将呈现一种不平衡状态, 即距离用户 k 较近的端口对应的路径增益相对较强, 而距离较远的则可能很弱. 不同于集中式天线系统的是, 不同用户的等效信道矩阵中, 路径增益的大小相对比较接近. 矩阵 $\hat{\mathbf{V}}_k^{(0)}$ 中各元素为 $v_{i,j} (i \in [1, QM], j \in [1, QM - \bar{r}])$, 则等效信道矩阵 $\bar{\mathbf{H}}_k \hat{\mathbf{V}}_k^{(0)}$ 的第 i 行、第 j 列上的元素可表示为

$$[\bar{\mathbf{H}}_k \hat{\mathbf{V}}_k^{(0)}]_{i,j} = \sum_{n=1}^Q \sum_{m=1}^M (L_{n,k} s_{n,k})^{1/2} h_{n,k}^{(i, (n-1)M+m)} \cdot v_{(n-1)M+m,j} \quad (6)$$

式中: $h_{n,k}^{(i,j)}$ 表示矩阵 $\mathbf{H}_{n,k}$ 第 i 行、第 j 列上的元素. 等效信道矩阵第 i 行、第 j 列上的路径增益的平均功率为

$$E([\bar{\mathbf{H}}_k \hat{\mathbf{V}}_k^{(0)}]_{i,j} [\bar{\mathbf{H}}_k \hat{\mathbf{V}}_k^{(0)}]_{i,j}^H) = \sum_{n=1}^Q \sum_{m=1}^M L_{n,k} s_{n,k} \cdot E(\|h_{n,k}^{(i, (n-1)M+m)}\|^2 \|v_{(n-1)M+m,j}\|^2) = \sum_{n=1}^Q \sum_{m=1}^M L_{n,k} s_{n,k} E(\|v_{(n-1)M+m,j}\|^2) \quad (7)$$

式中: $E(\cdot)$ 表示求均值. 式(7)利用了不同用户对应的信道矩阵的元素相互独立、小尺度衰落系数 $h_{n,k}^{(i,j)}$ 的平均功率归一化等假设. 由式(7)可以看出, 路径增益的平均功率为用户 k 与各端口间路径损耗和阴影衰落强度的加权求和. 在分布式天线系统中, 端口一般散布在小区内, 一般情况下, 某个特定位置的用户总能找到距离较近的天线端口, 即所有端口路径损耗均较大的可能性很小. 因此, 与集中式天线系统比较, 分布式多天线系统受远近效应的影响较小.

2.2 容量分析

文献[2-4]对集中式天线系统和分布式天线系统容量进行了比较. 本文将比较分布式多天线下行

系统中 TS 方案和 SM 方案的容量性能.

根据式(2), 采用 TS 方案时, 用户 k 的容量可以表示为

$$C_k^{\text{TS}} = \text{lb} \left| \mathbf{I}_N + ((\delta_n^2 + \delta_z^2) \mathbf{I}_N + \sum_{i=1, i \neq k}^L L_{q(i),k} s_{q(i),k} \cdot \mathbf{H}_{q(i),k} \mathbf{M}_{q(i),i} \mathbf{M}_{q(i),i}^H \mathbf{H}_{q(i),k}^H)^{-1} \cdot L_{q(k),k} s_{q(k),k} \mathbf{H}_{q(k),k} \mathbf{M}_{q(k),k} \mathbf{M}_{q(k),k}^H \mathbf{H}_{q(k),k}^H) \right| \quad (8)$$

采用 SM 方案时, 用户 k 的容量可以表示为

$$C_k^{\text{SM}} = \text{lb} \left| \mathbf{I}_N + \frac{1}{(\delta_n^2 + \delta_z^2)} \bar{\mathbf{H}}_k \hat{\mathbf{V}}_k^{(0)} \tilde{\mathbf{M}}_k \tilde{\mathbf{P}}_k^{1/2} \tilde{\mathbf{P}}_k^{H/2} \tilde{\mathbf{M}}_k^H (\hat{\mathbf{V}}_k^{(0)})^H \bar{\mathbf{H}}_k^H \right| \quad (9)$$

由式(8)可以看出: 在噪声和干扰功率一定的情况下, 采用 TS 方案时用户 k 的容量主要由各用户信道大尺度、小尺度衰落特性确定; 在各端口、用户天线数量确定, 并且信道小尺度衰落的统计特性确定的前提下, 影响容量的主要因素是各用户的位置以及距离最近的端口位置. 由于 $L_{q(k),k}$ 随距离 $d_{q(k),k}$ 的降低呈指数下降 (速度由路径损耗指数 β 确定), 所以, 当 $d_{q(k),k}$ 与 $d_{q(i),k} (i \in [1, L], i \neq k)$ 相比很小时, 其他用户的下行传输对用户 k 的容量影响很小.

由式(9)可知, SM 方案保证不同用户的信号在空域是正交的, 所以共道干扰被消除了. 但是, 多用户信号的联合发送要求所有的端口都进行下行传输, 计算复杂度更高, 并且要求 AP 确知所有端口到各用户间的 CSI, 各端口下行传输需保持很好的时间同步^[3]; 另一方面, 对于某用户 k , 若 $d_{i,k} (i \in [1, Q])$ 较大 ($L_{i,k}$ 很小), 则利用端口 i 传输用户 k 的信号时功率效率将会很低, 在此情况下, 下行联合传输可能导致小区间干扰增强. 所以, 至少在以下情况下, 分布式多天线下行链路上适合采用 TS 方案代替 SM 方案: ① 共道用户数量与端口数量相比很小时; ② 共道用户的分布比较分散且用户到端口的最近距离与用户间距离相比很小时; ③ 反馈链路负荷受限或者下行同步较困难时.

TS 方案和 SM 方案都是式(4)所描述的线性联合发送的特例 (不同的是前者选择了信道矩阵 $\bar{\mathbf{H}}$ 的某个子块, 而后者对于干扰置零), 由于该问题是一个复杂的非线性优化问题 (一般采用数值方法搜索其局部最优)^[7], 因此很难得到最优信号的闭式形式. 对此本文提出一种自适应切换方案, 从上述两种方案中选择一种完成多用户的共道传输. 为了衡量小区中各端口和共道用户的相对位置以及共道用户的数量大小, 定义参数

$$\theta = \frac{\sum_{k=1}^L L_{q(k),k} S_{q(k),k}}{\sum_{i=1, i \neq q(k)}^Q \sum_{k=1}^L L_{i,k} S_{i,k}} \quad (10)$$

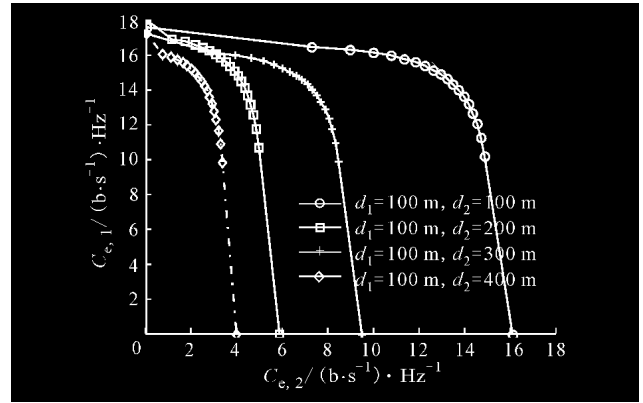
参数 θ 的优点是计算复杂度较低,而且不需要复杂的信道估计.假设自适应切换的门限值为 θ_T ,则在每一个自适应周期开始时刻,比较 θ 和 θ_T ,若 $\theta \geq \theta_T$,则采用 TS 方案,否则采用空分复用方案. θ_T 的取值与具体的系统参数相关,例如小区半径、端口和共道用户数目、路径损耗指数 β 、发送和接收天线数等参数,可以通过蒙特卡罗仿真寻找最优门限值.通过自适应地切换传输策略,仅以很小的容量损失为代价,能够有效地降低反馈链路的负荷,同时降低 AP 的处理复杂度,这一点通过仿真实验得到了验证.

3 仿真实验结果

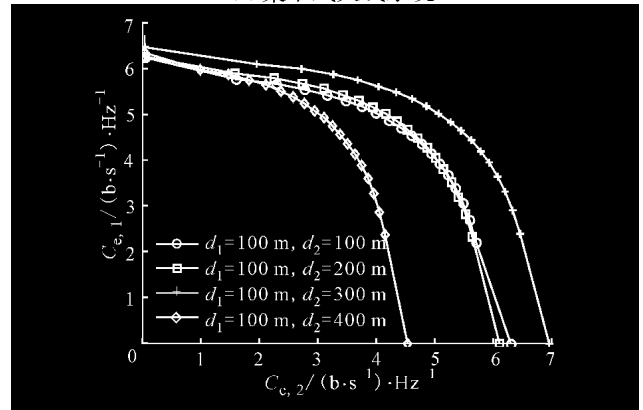
各态历经容量由信道容量对随机信道的大量实现求平均得到^[1].假设发射天线总数固定为 8,集中式天线系统的发射天线放置在小区中心,分布式天线系统的 4 个端口各有 2 根天线.仿真中未考虑端口位置的优化.假设 4 个端口分别位于 (300 m, 0 m)、(-300 m, 0 m)、(0 m, 300 m)、(0 m, -300 m) 处(坐标 (x, y) 表示相对于小区中心 (0, 0) 点的位置).令路径损耗指数 $\beta=4$,阴影衰落标准差 $\sigma=8$ dB.为简单起见,令小区间干扰功率 $\delta_s^2=0$,这并不影响本文的结论.

图 1 为集中式和分布式天线系统中两用户的容量域^[8].设 $L=2$,用户 1 位于 (-70.7 m, -70.7 m),距小区中心 100 m,而用户 2 则选取 3 个不同位置,即 (70.7 m, 70.7 m)、(212 m, 212 m)、(282.8 m, 282.8 m),距离小区中心依次为 100 m、300 m 和 400 m.假设总发射功率满足 $P/\delta_n^2=20$ dB,并在两个用户间平分, $C_{e,1}$ 和 $C_{e,2}$ 分别表示用户 1 和用户 2 的各态历经容量,采用 SM 方案,并用灌水法则计算信道容量^[1].由图 1a 可见,两用户到小区中心距离均为 100 m 时,容量域较平衡,随着用户 2 到小区中心距离的增加,容量域明显地向用户 1 偏倚.图 1b 表明,采用分布式天线时,远近效应对容量域影响并不明显, $C_{e,2}$ 变化范围不超过 35%,而在图 1a 中, $C_{e,2}$ 变化范围超过 75%.这表明,分布式天线系统能有效地降低远近效应的影响.

图 2 给出了不同用户位置情况下,TS 方案和 SM 方案的容量域比较.由图 2a 可以看出,两用户到各端口间的距离大于等于 200 m,TS 方案的系统

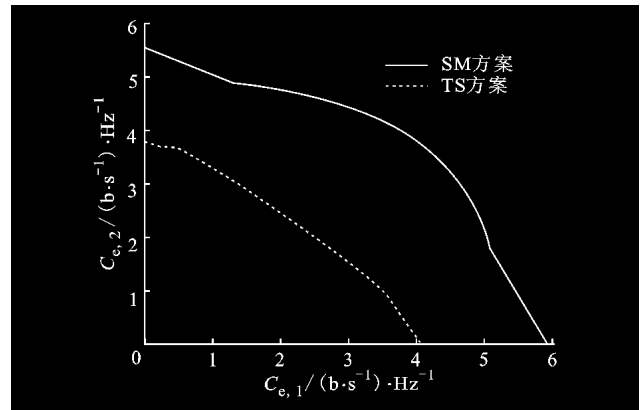


(a)集中式天线系统

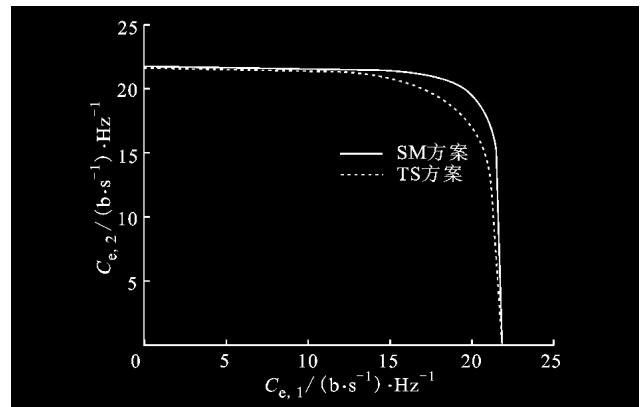


(b)分布式天线系统

图 1 不同天线配置条件下两用户容量域的比较



(a)用户 1(100 m, 0 m), 用户 2(0 m, 100 m)



(b)用户 1(260 m, 0 m), 用户 2(0 m, 260 m)

图 2 不同用户位置条件下 TS 方案和 SM 方案容量域比较

容量远小于 SM 方案, TS 并不能消除多用户干扰. 由图 2b 可看出, 当两用户分别靠近不同的端口时, 由于干扰功率相对于信号功率比较小, 所以 TS 方案的容量域与 SM 方案很接近. 实际上, 由于 SM 算法采用灌水法则进行功率分配, 绝大部分的功率被分配给最靠近该用户的端口, 这说明在适当情况下可以用 TS 方案代替 SM 方案, 而容量损失并不显著.

图 3 给出了不同切换门限条件下, 自适应切换方案的各态历经系统容量与 TS 方案和 SM 方案的比较. 图 3 中的数据为对共道用户在距离小区中心 400 m 范围内的大量位置做平均而得. 由图 3 可以看出: 自适应切换方案的各态历经系统容量介于 TS 方案和 SM 方案之间; 随着切换门限 θ_T 的提高, 自适应切换方案的容量更加接近 SM 方案. 图 4 给出了采用 SM 方案的次数占总的信道实现次数的比例与门限的关系. 可以看出, 随着门限的提升, 采用 SM 方案的比例提高, 逐渐趋于 1. 例如, 在门限约为 $\theta_T=32$ 时, 可以在约 40% 的信道实现中, 采用 TS 方案代替 SM 方案, 而系统容量较 TS 方案可以提升约 20%, 与 SM 方案相比约降低了 7%. 根据上述讨论可知, 这种代替可以将反馈链路负荷至少降低 Q 倍, AP 的处理复杂度极大地降低了, 并且从平均意义上说, 工作的射频链路个数也降低了 Q 倍. 需

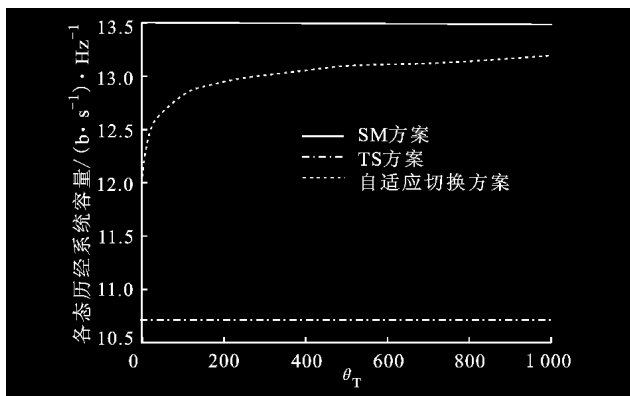


图3 各态历经系统容量与切换门限的关系

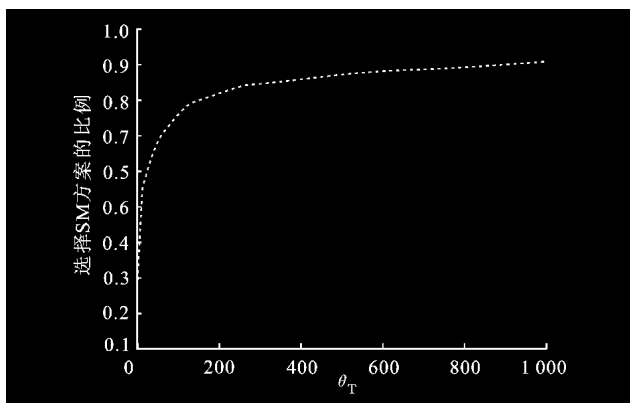


图4 选择 SM 方案的比例与切换门限的关系

要说明的是, 本文只针对特定的条件分析了门限对系统性能的影响, 对于不同的系统参数, 门限的设置规律不同, 需综合考虑容量、复杂度及反馈负荷等, 这仍是待研究的问题.

4 结 论

本文给出了分布式多天线下行链路中选择式发送和空分复用发送方案的信号模型, 并对两种方案的容量性能进行了比较. 分析和仿真表明: 空分复用系统受到远近效应的影响相对于集中式天线系统更小; 通过在选择发送和空分复用联合发送间自适应地切换, 仅以很小的容量损失为代价, 就能有效降低反馈链路负荷和处理复杂度. 分布式多天线技术将逐渐运用于无线通信系统中, 本文的研究可为分布式多天线系统下行传输方案提供有益的参考.

参考文献:

- [1] Gesbert D, Shafi M, Shiu D, et al. From theory to practice: an overview of MIMO space time coded wireless systems [J]. IEEE JSAC, 2003, 21(3): 281-302.
- [2] Roh W, Paulraj A. Outage performance of the distributed antenna systems in a composite fading channel [J]. IEEE Vehicular Technology Conference, 2002, 56(3): 1520-1524.
- [3] Dai Lin, Zhou Shidong, Yao Yan. Capacity analysis in CDMA distributed antenna systems [J]. IEEE Trans on Wireless Commun, 2005, 4(6): 2613-2620.
- [4] Choi W, Andrews J G, Yi C. Capacity of multicellular distributed antenna networks [C]// IEEE International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing. Piscataway, USA: IEEE, 2005: 1337-1342.
- [5] Roh W, Paulraj A. MIMO channel capacity for the distributed antenna systems [J]. IEEE Vehicular Technology Conference, 2002, 56(2): 706-709.
- [6] Spencer Q H, Swindlehurst A L, Haardt M. Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multi-user MIMO channels [J]. IEEE Trans on SP, 2004, 52(2): 461-471.
- [7] Choi R, Ivrlac M, Murch R D, et al. On strategies of multiuser MIMO transmit signal processing [J]. IEEE Trans on Wireless Commun, 2004, 3(6): 1936-1941.
- [8] Spencer Q H, Peel C B, Lee A, et al. An introduction to the multi-user MIMO downlink [J]. IEEE Commun Mag, 2004, 42(10): 60-67.

(编辑 刘杨)